



**University of  
Zurich**<sup>UZH</sup>

**Zurich Open Repository and  
Archive**

University of Zurich  
University Library  
Strickhofstrasse 39  
CH-8057 Zurich  
[www.zora.uzh.ch](http://www.zora.uzh.ch)

---

Year: 2012

---

## **Einfluss von Calcium und Phosphor auf den Stoffwechsel beim Schwein**

Liesegang, Annette

Posted at the Zurich Open Repository and Archive, University of Zurich  
ZORA URL: <https://doi.org/10.5167/uzh-72132>  
Conference or Workshop Item  
Published Version

Originally published at:

Liesegang, Annette (2012). Einfluss von Calcium und Phosphor auf den Stoffwechsel beim Schwein. In: 11 BOKU Symposium, Tierernährung, Wien, 19 April 2012. Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie, BOKU Wien, 17-22.

# 11. BOKU-SYMPOSIUM TIERERNÄHRUNG

TAGUNGSBAND

Die Zukunft der Tierernährung

19. April 2012 in Wien



TIERERNÄHRUNG  
TIERISCHE LEBENSMITTEL  
ERNÄHRUNGSPHYSIOLOGIE

**Tagungsband**

**11. BOKU-Symposium  
TIERERNÄHRUNG**

**Die Zukunft der Tierernährung**

19. April 2012, Wien

**Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel  
und Ernährungsphysiologie  
Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie**

**BOKU – University of Natural Resources  
and Life Sciences, Vienna  
Universität für Bodenkultur Wien**



---

Tagungsband:

11. BOKU-Symposium TIERERNÄHRUNG

## **Die Zukunft der Tierernährung**

19. April 2012, Wien

Herausgeber:

Dr. Christiane Mair

Margit Kraft

Ao. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Wetscherek

Dr. Karl Schedle

Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie

Interuniversitäres Department für Agrarbiotechnologie

Universität für Bodenkultur Wien

Muthgasse 11, A-1190 Wien

[www.boku.ac.at/tte-Symposium](http://www.boku.ac.at/tte-Symposium)

[tte@boku.ac.at](mailto:tte@boku.ac.at)

Eigenverlag:

Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie

ISBN 978-3-900962-99-9

Für den Inhalt der Beiträge sind allein die Autoren verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

## Übersichtsvorträge

G Flachowsky Erwartungen der Tierernährung an die Futterpflanzenzüchtung und den Futterbau	1
K-H Südekum, B Edmunds und F Hippenstiel Stickstoffreduzierte Fütterung von Milchkühen – welches Potential geht von Grob- und Kraftfuttermitteln aus?	8
G Breves Optimierung der Stickstoffeffizienz aus physiologischer Sicht beim Monogaster	14
A Liesegang Einfluss von Calcium und Phosphor auf den Stoffwechsel beim Schwein	17
R Khiaosa-ard, C Iben and Q Zebeli Cattle production and its key role in sustainable food security and safety	23
W Wetscherek Einfluss der Tierernährung auf Effizienz und Ökologie in der Fleischerzeugung	35
I Strnad Antinutritive Substanzen in Österreichs Futtermitteln	36

## Futterbewertung und Fütterung / Feed evaluation and feeding

K Rutzmoser und T Ettle Ein Modell zur Beschreibung der ME-Aufnahme von weiblichen Aufzuchttrindern	42
J Trautwein, K Schiel, C Koch, C Potthast und G Dusel Einsatz von Pressschnitzelsilage in der Mastrinderfütterung	47
G Wiedner, J Kraushofer, T Figl-Wolfsberger und R Leitgeb Ist der Futterwert von DDGS mit dem von Sojaextraktionsschrot in der Stiermast vergleichbar?	52
Z Formelová, M Chrenková, Z Čerešňáková, L Chrastinová and M Poláčiková Nutritional value of rye hybrid and its use in nutrition of ruminants	59
L Baldinger, W Zollitsch und W Knaus Maissilage ermöglicht bessere Stickstoffeffizienz der Bio-Kuhmilchproduktion als siliertes italienisches Raygras	65
T Ettle, A Obermaier und M Steyer Untersuchungen zum Austausch von Körnermais durch Weizen beim Milchvieh	70
C Koch, F Schöne, F-J Romberg, M Leiterer, H Steingaß und K-H Südekum Einfluss von Rapskuchen auf Jodgehalt in Milch und Blut von Kühen	75
W Wetscherek, K Schedle und C Mair Einsatz von getoasteten Sojabohnen in der Ferkelaufzucht	81
W Preißinger, H Lindermayer und G Propstmeier Überprüfung der DLG Fütterungsempfehlungen für 750 bzw. 950 g tägliche Zunahmen bei Mastschweinen bayerischer Genetik	87

## Einfluss von Calcium und Phosphor auf den Stoffwechsel beim Schwein

**Annette Liesegang**

Vetsuisse Fakultät Zürich

### Einleitung

Die Ökologie spielt in der Schweinefütterung eine immer größere Rolle. In der Umwelt kommt Phosphor meist in Form schwerlöslicher Phosphat-Verbindungen vor. Damit wird es häufig zum limitierenden Element für das Pflanzenwachstum, sowohl in Gewässern als auch auf den Böden (Smil, 2000). Mit der Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion kamen vermehrt Kunstdüngemittel zum Einsatz. Sie enthalten, je nach Rezeptur als Nährstoffe, hauptsächlich Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K), welche zu einem großen Teil für ein üppiges Pflanzenwachstum verantwortlich sind. Während N aus der Luft gewonnen wird (Luft enthält 78% N), werden P und K aus Bergwerken gefördert. Die Kaliumreserven sind noch reichlich. Die Phosphorbestände hingegen, welche mit der heutigen Technologie kostendeckend abgebaut werden können, reichen bei gleich bleibendem Abbau noch für die nächsten 80 (Smil, 2000) bzw. 90 (Vaccari, 2009) Jahre. Die Nutzflächen werden mit Kunst- und Stalldünger gedüngt und die Ackerflächen, bedingt durch die Auflockerung der Böden beim Ackerbau, zunehmend erodiert. Dies führt einerseits zu einem vermehrten P-Entzug aus den genutzten Böden (bedingt durch die Ernte), andererseits bei Überdüngung und vermehrter Erosion, zu einer Ansammlung von P in Gewässern. Hohe P-Konzentrationen im Süßwasser (Eutrophierung) ermöglichen unkontrolliertes Wachstum von Algen und Cyanobakterien (Vaccari, 2009). Um den Nährstoffeintrag in die Gewässer durch die Landwirtschaft zu reduzieren, wurden in vielen Ländern unterschiedliche Vorschriften erlassen. Die zulässigen Phosphor- und Stickstoffmengen bemessen sich nach dem Pflanzenbedarf und dem betrieblichen Bewirtschaftungspotential und müssen in einer Nährstoffbilanz dokumentiert werden. In der Nährstoffbilanz werden beim Einsatz von N- und/oder P-reduzierten Futtermitteln in der Schweinemast auch deren Mineralstoffgehalte mitberücksichtigt. Um den Nährstoffeintrag durch Stalldünger in die Böden zu senken und aufgrund der Berücksichtigung der Futtergehalte an P und N bei der Nährstoffbilanz, wurden in den letzten Jahren in der Mastschweinefütterung vermehrt N- und P-reduzierte Futter (NPr-Futter) eingesetzt. Mit der zunehmenden Anzahl Landwirte, welche nach ökologischen Leistungsnormen produzieren, konnte der Phosphoreintrag zumindest in die Schweizer Nutzflächen kontinuierlich gesenkt werden. Im Allgemeinen hat sich die Düngung mit anorganischem P in den Ländern mit hohem Einkommen stabilisiert oder ist, wie in der Schweiz, zurückgegangen. In den armen Ländern liegt der Eintrag in die Felder jedoch meist über dem Bedarf der Kulturen (Smil, 2000) und der überschüssige P gelangt in die Gewässer, mit den geschilderten Folgen.

Pflanzen nehmen P meist in Form von Dihydrogenphosphat ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) auf. Anschließend wird es in verschiedenen Stoffwechselwegen weiterverwendet. Neuere Bestrebungen, den P in den Futterpflanzen besser verfügbar zu machen, gehen in Richtung einer Entwicklung von Pflanzen mit stark reduziertem Phytin Gehalt bei möglichst gleichbleibendem Gesamtposphorgehalt (Raboy et al., 2001), oder Entwicklung transgener Pflanzen, welche selbst eine erhöhte Menge an Phytase produzieren (Brinch-Pedersen et al., 2002). Die in der EU für den Einsatz im Tierfutter zugelassenen Phytasen haben ihre maximale Aktivität bei pH 4.5-5.5 (Simon, 2009). Aufgrund dieser Voraussetzungen beschränkt sich der Aktivitätsbereich auf den Magen und den proximalen Dünndarm bis zur Einmündung des Ductus pancreaticus (Simon, 2009). Eine der seltenen Phytasen mit optimaler Aktivität im neutralen pH-Bereich ist die Bacillus-Phytase (Simon, 2009). Das Problem für den Einsatz in der Praxis ist jedoch, dass man bis jetzt nicht genügend große Enzymmengen dieser Phytase herstellen kann. Ein hoher

Kalziumgehalt im Futter oder ein weites Ca:P-Verhältnis können die Phytaseeffizienz vermindern (Lei et al., 1994). Kalzium (Ca) kann einerseits für die Phytase unzugängliche Komplexe mit dem Phytat bilden oder durch eine Erhöhung des intestinalen pH die Phytaseaktivität hemmen (Sandberg et al., 1993). Andererseits ist das überschüssige Ca im Stande mit den aktiven Bindungsstellen des Enzyms zu konkurrieren. Der Effekt scheint unabhängig von der Phytasekonzentration, aber verstärkt bei niedrigen Konzentrationen des verdaulichen Phosphors aufzutreten (Qian et al., 1996). Auch hohe Phosphorgehalte können dieselbe Wirkung auf die Aktivität des Enzyms haben. Es gibt zahlreiche weitere In-vitro-Untersuchungen, welche die Hemmung diverser Phytasen durch spezifische Metallionen belegen (Rao et al., 2009).

Sowohl Ca als auch P gehören zu den Mengenelementen im Körper. Ihre Funktionen sind weit reichend. Nachfolgend einige Beispiele für die Funktionen des Phosphors im Körper: Beteiligung an Nukleinsäuresynthese, Energiestoffwechsel, Zell-Signaling, Membranintegrität, Muskelfunktion, verschiedenen Enzymaktivitäten, Lipidstoffwechsel und Knochenmineralisation. Für die Homöostase der beiden Elemente spielen der Dünndarm, der Knochen und die Niere eine zentrale Rolle. P wird in Form von anorganischem Phosphat im Dünndarm aktiv und passiv absorbiert (Schröder et al., 1996; Murer et al., 2001; Bohlke et al., 2005). Liu et al. (Liu et al., 2000) wiesen bei Schweinen auch im Dickdarm eine P-Absorption nach. Vieles bezüglich der P-Absorption im Darm ist noch ungeklärt. Für die Absorption des zweiwertigen Anions von Ca ist der Dünndarm relevant. Im oberen Teil geschieht die Absorption aktiv und über den ganzen Dünndarm passiv (Kaune, 1996; Schröder und Breves, 2006). Im Blut werden die Konzentrationen beider Elektrolyte in engen Grenzen konstant gehalten. Für das Ca beträgt der Mittelwert  $\pm 2$  SD von 50-100 kg schweren Mastschweinen  $2.70 \text{ mmol/l} \pm 0.3$ . Die mittlere P-Konzentration liegt bei  $2.68 \text{ mmol/l} \pm 0.56$ . Die Knochen bilden den Hauptspeicherort der beiden Elemente im Körper. Wie schon oben erwähnt, befinden sich 99 % des Körper-Kalziums und 75-85 % des Körper-Phosphors im Knochen.

Der Ca-Haushalt wird vor allem über die Ca-Aufnahme im Darm reguliert. In der Niere wird nur der nicht-proteingebundene Teil frei filtriert und zwischen 97-99.5 % davon wieder rückresorbiert. Eine hohe Ca-Konzentration im Blut und eine Azidose hemmen die Ca-Rückresorption und es resultiert eine vermehrte Ausscheidung über den Urin (Murer et al., 2001). Für die Regulation des Ca- und P-Stoffwechsels spielen hauptsächlich Parathormon (PTH), Vit D und Calcitonin und für P wahrscheinlich auch verschiedene Phosphatonine eine Rolle (Berndt und Kumar, 2008).

## Einfluss auf den Stoffwechsel

In der Schweineproduktion werden immer häufiger Störungen des Ca- und/oder P-Stoffwechsels sowohl während des Wachstums als auch während der Reproduktion beobachtet. Es konnte gezeigt werden, dass die Fütterung einen großen Einfluss auf diese Probleme hat. Liesegang et al (2002) zeigten, dass eine rein vegetarische Ernährung (d.h. ohne Zusätze) bei wachsenden Schweinen zu einem signifikanten Knochenverlust führt. Auch führte eine P-defiziente Fütterung zu einem verstärkten Abbau von Knochen (Liesegang et al. 2002). Interessanterweise zeigten trächtige und laktierende Schweine, dass die Knochenformation zur Geburt hin stark abnimmt, um Ca für die wachsenden Feten und für die Milchbildung bereit zu stellen. Knochen wird in diesem Zeitraum verstärkt abgebaut und es wird deutlich, dass Tiere, welche in der ersten Phase der Trächtigkeit oder bereits während der Aufzucht keine stabilen Knochen aufbauen konnten, in der Laktationsphase oder direkt danach vermehrt Probleme mit schlecht kalzifizierten Knochen aufweisen (Liesegang et al. 2005). Die Folge sind meist spontane Knochenbrüche, wie sie immer wieder in der Praxis in der Schweiz auftreten.

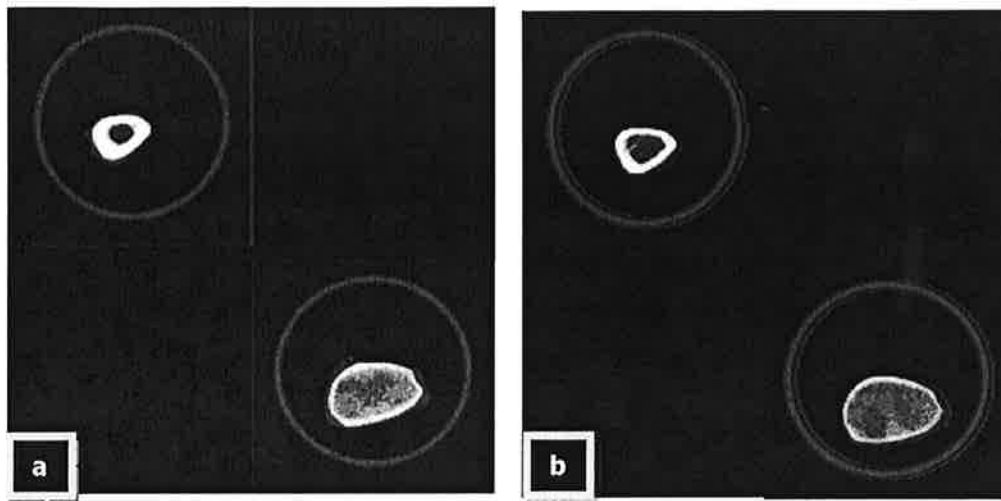
Wird also dem Schwein nicht genügend Ca und/oder P über die Nahrung zugeführt, führen verschiedene Regulationsmechanismen zur Erhaltung der Ca-/P-Konzentration im Blut. Dabei wird die intestinale Absorption gefördert, die Ausscheidung über die Niere gehemmt und die Mobilisation von Ca/P aus dem Knochen gesteigert. Die Absorption über den Darm und die renale Reabsorption werden

durch  $1,25\text{-(OH)}_2\text{-D}$  bzw. Parathormon reguliert. Bei Mäusen wurde auch eine von Vit D unabhängige Steigerung der P-(Re-) Absorption nachgewiesen (Segawa et al., 2004). Sowohl Zellen im Darm als auch in der Niere scheinen P-Konzentrationen selbst detektieren zu können und in der Lage zu sein, auf Veränderungen direkt mit einer Anpassung der P-Transportkapazität zu reagieren (Berndt und Kumar, 2008). Im Knochen wird auch durch  $1,25\text{-(OH)}_2\text{-D}$  ein vermehrter Abbau induziert und dadurch P mobilisiert. Besteht über längere Zeit eine ungenügende P-Zufuhr, nimmt die Knochendichte messbar ab (Carter et al., 1996; Harper et al., 1997; Liesegang et al., 2002a; Liesegang et al., 2005). Im Extremfall, und insbesondere bei wachsenden Tieren mit einem erhöhten Bedarf, kann der Knochen dadurch instabil werden.

Der Stoffwechsel kann über verschiedene Parameter überprüft werden. Eine Möglichkeit besteht darin verschiedene Metaboliten des Knochenaufbaus-oder -abbaus im Blut zu bestimmen, die sogenannten Knochenmarker. Anhand ihrer Konzentrationen im Blut oder Urin kann eine Aussage über die Intensität des Auf- und Abbaus bzw. der Umbauvorgänge im Knochengewebe gemacht werden. Im Unterschied zu anderen Messgrößen erhält man damit einen Einblick in die dynamischen Vorgänge im Knochen, ohne invasiv vorgehen zu müssen. Bei Schweinen konnten Liesegang et al. (Liesegang et al. 2002b) eine gute Korrelation eines Knochenresorptionsmarkers mit der Knochenmineralisation nachweisen. Auch bei Schafen und Ziegen um den Zeitpunkt der ersten Geburt wiesen Liesegang et al. (Liesegang et al., 2006) den Zusammenhang von hohen Knochenresorptionsmarker-Konzentrationen im Blut mit tieferen Knochendichten nach. Frisbie et al. (2010) wiesen bei Pferden nach, dass gewisse Markerkonzentrationsmuster im Blut typisch waren für eine spätere Erkrankung des Bewegungsapparats. Die Markerkonzentrationen geben hingegen keinen Aufschluss über den genauen Ort (Lokalisation im Körper, Spongiosa/Kompakta, intakter/frakturierter Knochen) der Umbauvorgänge (Withold, 1996). Eine weitere Einschränkung der Aussagekraft von einigen Knochenmarkern ergibt sich durch die geringe Spezifität, d.h. die meisten Marker entstehen im Körper nicht nur bei Umbauvorgängen im Knochen, sondern auch in anderen Geweben. Bei der Interpretation der Werte müssen Alter, Geschlecht, Nahrung, physische Belastung, Krankheiten, Leber-, Nierenfunktion sowie die tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen immer mit berücksichtigt werden (Schönau und Rauch, 1997; Woitge et al., 1998; Watts, 1999). Die Knochenmarker gelten in der Veterinärmedizin als geeignetes Instrument, den Knochenstoffwechsel von verschiedenen Tierarten zu überwachen (Liesegang, 2000, 2003). Allerdings ist es wichtig, dass die Marker tageszeitlichen Schwankungen unterstehen, d.h. die Blutentnahmen müssen standardisiert immer zur gleichen Zeit entnommen werden, was unter Praxisbedingungen zu Einschränkungen in der Anwendbarkeit führt.

Um die tägliche Knochenresorption zu ermitteln, erarbeiteten Bollen et al. 1997 eine Methode. Diese Untersuchung erfolgte mit fünf vier Monate alten Minipigs, welche einen Monat lang jeden zweiten Tag für 24 Stunden in einem Stoffwechselkäfig gehalten wurden. So wurden Urinproben gesammelt, in welchen aminoterminalen Telopeptide des Typ I Kollagens (NTX) nachgewiesen wurden. NTX wird bei der Knochenresorption durch Osteoklasten freigesetzt. Die Skelettmasse wurde anhand der Formel von Elowsson und Carlsten (1997) ermittelt. Die Resultate zeigten bei gesunden Tieren, dass durchschnittlich alle 24 Stunden 1.4 % der Skelettmasse resorbiert werden. Es ist klar ersichtlich, dass Tiere, welche auch nur einen geringen Mangel an Mineralstoffen haben, noch schneller Knochen abbauen, um die Kalziumhomöostase aufrechterhalten zu können. Ein weiteres diagnostisches Mittel ist die Messung der Knochendichte mittels der peripheren Computertomographie (Abbildung 1).





**Abbildung 1:** Computertomographische Darstellung von Knochen eines Schweines; a = normales wachsendes Schwein; b = Schwein, welches P-defizient gefüttert wurde; Obere Bilder: Mitte Diaphyse; untere Bilder: Distal am Knochen. Je weisser die Bezirke, desto stärker mineralisiert, rechte Bilder zeigen dünnere Knochen; rot = Schwammknochen

## Schlussfolgerungen

Die Mineralstoffversorgung des Schweines hat aufgrund der für die Umwelt notwendigen Reduktion der Mineralgehalte im Futter einen immer grösser werdenden Einfluss auf die Knochengesundheit von Schweinen. Ein möglicher Zusammenhang mit vermehrt auftretenden Lahmheiten in der Praxis, gilt es zu kontrollieren und weiter abzuklären.

Bei der Überprüfung der Fütterung in der Praxis wurden bisher einige Rationen beobachtet, welche eine unterhalb der Empfehlung liegende Versorgung mit Calcium und verdaulichem Phosphor aufwiesen. Die berechneten Rationen in der Endmast entsprachen dagegen häufig dem Phosphorbedarf. In der Anfangsmast ist die Versorgung mit Mineralstoffen erniedrigt und bis zum Ende der Mast kann keine maximale Mineralisation und Brechkraft der Knochen erreicht werden. Mit dem Einsatz von Phytase und bei Verfütterung von Schotte konnte unter Reduktion des Gesamtphosphors im Futter in der Praxis eine stärkere Mineralisation der Knochen nachgewiesen werden.

Die verschiedenen Methoden zum Nachweis der Knochengesundheit sind teilweise bedingt einsetzbar unter Praxisbedingungen. Die Methode der Knochendichtemessungen eignet sich sehr gut, um Störungen der Mineralisierung zu erkennen. Nach z.B. der Schlachtung von Schweinen aus verschiedenen Betrieben ist dies jedoch unproblematisch, um auch festzustellen, ob Probleme im Betrieb auftreten.

Die verschiedenen Knochenmarker werden bisher in der Veterinärmedizin aus verschiedenen Gründen nicht routinemäßig eingesetzt. Zum einem sind die Nachweismethoden sehr teuer und zum anderen sind viele Knochenmarker spezies-spezifisch und nicht alle sind kommerziell erhältlich. Die diagnostischen Möglichkeiten, welche mittels dieser Parameter zur Verfügung stehen könnten, sollten nicht unterschätzt werden. Die einzelnen Nachweismethoden müssen jedoch standardisiert und Normalwerte für die verschiedenen Spezies und die Altersklassen etabliert werden. Erst dann können diese Parameter sinnvoll interpretiert werden.

## Literatur

- Bohlke R. A., Thaler R. C., Stein H. H. (2005): Calcium, phosphorus, and amino acid digestibility in low-phytate corn, normal corn, and soybean meal by growing pigs. *J Anim Sci*, 83, 2396-2403
- Brinch-Pedersen H., Sorensen L. D., Holm P. B. (2002): Engineering crop plants: getting a handle on phosphate. *Trends in Plant Science*, 7, 118-125
- Berndt T., Kumar R. (2008): Novel Mechanisms in the Regulation of Phosphorus Homeostasis. *PHYSIOLOGY*, 24, 17-25
- Bohlke R. A., Thaler R. C., Stein H. H. (2005): Calcium, phosphorus, and amino acid digestibility in low-phytate corn, normal corn, and soybean meal by growing pigs. *J Anim Sci*, 83, 2396-403
- Bollen, A.-M., McCulloch, K. J., and Herring, S. W. (1997): Whole body bone resorption in the growing pig. *Growth, Development and Aging*, 61: 181-189
- Carter S. D., Cromwell G. L., Combs T. R., Colombo G., Fanti P. (1996): The determination of serum concentrations of osteocalcin in growing pigs and its relationship to end-measures of bone mineralization. *J Anim Sci*, 74, 2719-29
- Frisbie D. D., Mc Ilwraith C. W., Arthur R. M., Blea J., Baker V. A., Billingham R. C. (2010): Serum biomarker levels for musculoskeletal disease in two- and three-year-old racing Thoroughbred horses: A prospective study of 130 horses. *Equine Vet J*, 42, 643-51
- Harper A. F., Kornegay E. T., Schell T. C. (1997): Phytase supplementation of low-phosphorus growing-finishing pig diets improves performance, phosphorus digestibility, and bone mineralization and reduces phosphorus excretion. *J. Anim. Sci.*, 75, 3174-86
- Kaune R. (1996): Mechanisms of intestinal calcium absorption and availability of dietary calcium in pigs. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*, 103, 215-8
- Lei X. G., Ku P. K., Miller E. R., Yokoyama M. T., Ullrey D. E. (1994): Calcium level affects the efficacy of supplemental microbial phytase in corn-soybean meal diets of weanling pigs. *J Anim Sci*, 72, 139-143
- Liesegang A. (2000): Anwendung von Knochenmarkern in der Veterinärmedizin. *Schweiz Arch Tierheilkd*, 142, 613-23
- Liesegang A., Burgi E., Sassi M. L., Risteli J., Wanner M. (2002a): Influence of a vegetarian diet versus a diet with fishmeal on bone in growing pigs. *Journal of Veterinary Medicine Series a-Physiology Pathology Clinical Medicine*, 49, 230-238
- Liesegang A., Ursprung R., Gasser J., Sassi M. L., Risteli J., Riond J. L., Wanner M. (2002b): Influence of dietary phosphorus deficiency with or without addition of fumaric acid to a diet in pigs on bone parameters. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 86, 1-16
- Liesegang A. (2003): Possibilities of monitoring bone metabolism in ruminants--an overview of the methods in use. *Acta Vet Scand Suppl*, 97, 23-28
- Liesegang A., Loch L., Burgi E., Risteli J. (2005): Influence of phytase added to a vegetarian diet on bone metabolism in pregnant and lactating sows. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 89, 120-128
- Liesegang A., Risteli J., Wanner M. (2006): The effects of first gestation and lactation on bone metabolism in dairy goats and milk sheep. *Bone*, 38, 794-802
- Liu J., Bollinger D. W., Ledoux D. R., Venum T. L. (2000): Effects of dietary calcium:phosphorus ratios on apparent absorption of calcium and phosphorus in the small intestine, cecum, and colon of pigs. *J Anim Sci*, 78, 106-109
- Murer H., Hernando N., Forster I., Biber J. (2001): Molecular mechanisms in proximal tubular and small intestinal phosphate reabsorption (Plenary Lecture). *Molecular Membrane Biology*, 18, 3-11
- Qian H., Kornegay E. T., Conner D. E., Jr. (1996): Adverse effects of wide calcium:phosphorus ratios on supplemental phytase efficacy for weanling pigs fed two dietary phosphorus levels. *J Anim Sci*, 74, 1288-97
- Raboy V., Young K. A., Dorsch J. A., Cook A. (2001): Genetics and breeding of seed phosphorus and phytic acid. *Journal of Plant Physiology*, 158, 489-497.
- Rao D. E., Rao K. V., Reddy T. P., Reddy V. D. (2009): Molecular characterization, physicochemical properties, known and potential applications of phytases: An overview. *Crit Rev Biotechnol*, 29, 182-98
- Sandberg A. S., Larsen T., Sandstrom B. (1993): High Dietary Calcium Level Decreases Colonic Phytate Degradation in Pigs Fed a Rapeseed Diet. *Journal of Nutrition*, 123, 559-566
- Schönau E., Rauch F. (1997): Markers of bone and collagen metabolism-problems and perspectives in paediatrics. *Horm Res*, 48 Suppl 5, 50-9.

- Schröder B., Breves G., Rodehutscord M. (1996): Mechanisms of intestinal phosphorus absorption and availability of dietary phosphorus in pigs. *Dtsch Tierarztl Wochenschr*, 103, 209-14
- Schröder B., Breves G. (2006): Mechanisms and regulation of calcium absorption from the gastrointestinal tract in pigs and ruminants: comparative aspects with special emphasis on hypocalcemia in dairy cows. *Anim Health Res Rev*, 7, 31-41
- Segawa H., Kaneko I., Yamanaka S., Ito M., Kuwahata M., Inoue Y., Kato S., Miyamoto K. (2004): Intestinal Na-P-i cotransporter adaptation to dietary P-i content in vitamin D receptor null mice. *American Journal of Physiology-Renal Physiology*, 287, F39-F47
- Simon O. (2009): Phytasen – Ansätze zur Verbesserung der Wirksamkeit. *Schriftenreihe aus dem Institut für Nutztierwissenschaften der ETH Zürich*, 32, 87-98
- Smil V. (2000): Phosphorus in the environment: Natural flows and human interferences. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, 53-88
- Vaccari D. A. (2009): Droht ein Mangel an Phosphor? aus: *Spektrum der Wissenschaft*, 9, 78-83
- Watts N. B. (1999): Clinical utility of biochemical markers of bone remodeling. *Clin Chem*, 45, 1359-68
- Withold W. (1996): Monitoring of bone turnover biological, preanalytical and technical criteria in the assessment of biochemical markers. *Eur J Clin Chem Clin Biochem*, 34, 785-99
- Woitge H. W., Scheidt-Nave C., Kissling C., Leidig-Bruckner G., Meyer K., Grauer A., Scharla S. H., Ziegler R., Seibel M. J. (1998): Seasonal variation of biochemical indexes of bone turnover: results of a population-based study. *J Clin Endocrinol Metab*, 83, 68-75

### **Autorenanschrift**

PD Dr. Annette Liesegang, Dipl ECVCN, Dipl IVAS  
Head of Institute  
Institute of Animal Nutrition, Vetsuisse Faculty Zurich  
Winterthurerstrasse 260  
CH-8057 Zürich  
E-Mail: aliese@vetphys.uzh.ch